Aula 9

AVES

META
A presente aula tem por meta apresentar as principais características das aves bem como as hipóteses sobre a origem do vôo para o grupo.

OBJETIVOS
Ao final desta aula, o aluno deverá:
reconhecer as principais características que permitem separar as aves dos demais grupos de cordados, bem como aspectos evolutivos e comportamentais.

PRÉ-REQUISITOS
Conhecer as principais divisões encontradas em Diapsida e as características anatômicas gerais das aves, vistas na disciplina Anatomia Comparada dos Cordados.

INTRODUÇÃO

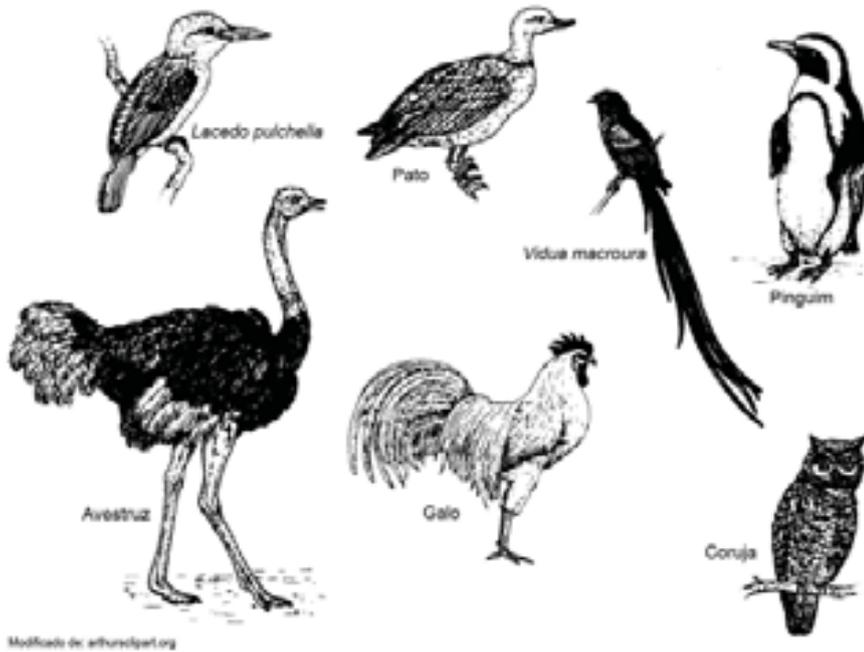
As aves descendem dos répteis arcossáurios e correspondem ao grupo mais derivado entre os Diapsida viventes. Há mais ou menos 150 milhões de anos, os terópodes com penas evoluíram, dando origem às aves. O fóssil mais antigo do grupo, o *Archaeopteryx lithographica*, foi descoberto em 1861 na Alemanha. Essa espécie possuía asas com penas, mas também conservava algumas características ancestrais, como dentes, dedos com garras nas asas e uma cauda longa. Os fósseis mais recentes mostram uma perda gradual de certas características ancestrais dos dinossauros, como dentes e membros anteriores com garras, bem como a aquisição de inovações das aves atuais, incluindo cauda curta coberta por um leque de penas.

Atualmente estão descritas mais de 9.600 espécies de aves, distribuídas em quase todo o globo terrestre, ocupando hábitats muito variados. São encontradas, por exemplo, em florestas, desertos, montanhas, pradarias e em todos os oceanos. Na América dos Sul já foram registradas aproximadamente 2.650 espécies residentes, e no Brasil cerca de 1.640. A grande maioria das espécies de aves apresenta hábitos diurnos e se orienta principalmente pela visão.

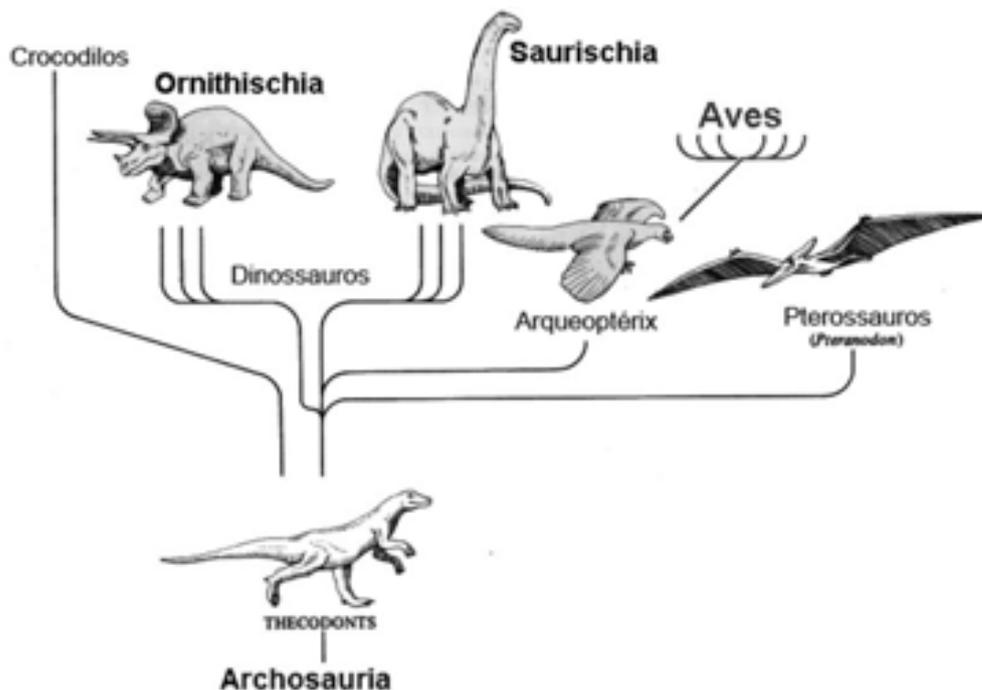
Muitas características observadas nas aves são adaptações que facilitam o vôo, como os membros anteriores modificados em asas e a presença de penas. As penas são consideradas como sinapomorfia do grupo. São estruturas queratinizadas, de origem epidérmica, derivadas das escamas córneas dos répteis. As penas evoluíram antes do vôo, demonstrando que a função em curso de um caractere não é necessariamente a mesma daquela de sua origem evolutiva.

Várias adaptações ao vôo estão relacionadas à redução do peso, como ossos mais leves e pneumatizados, presença de um bico córneo, perda dos dentes, ausência de bexiga urinária e excreção de ácido úrico. As fêmeas da maioria das aves têm apenas um ovário. As gônadas são geralmente pequenas, exceto durante a estação reprodutiva, quando aumentam consideravelmente de tamanho. O vôo também requer visão aguçada e controle muscular aprimorado, repercutindo nas áreas visuais e motoras do cérebro, que são bem desenvolvidas.

As aves são endotérmicas, utilizando o próprio calor metabólico para manter a temperatura corporal alta e constante. O sistema respiratório é altamente eficiente para suprir a intensa demanda metabólica do vôo.

Atualmente as aves estão divididas em dois grupos: Paleognatha, grandes aves não voadoras frequentemente chamadas de ratitas, as quais têm o esterno achatado com músculos peitorais pouco desenvolvidos; Neognatha, aves voadoras que possuem o esterno em forma de quilha, no qual se originam poderosos músculos de vôo.

Representantes da classe Aves.

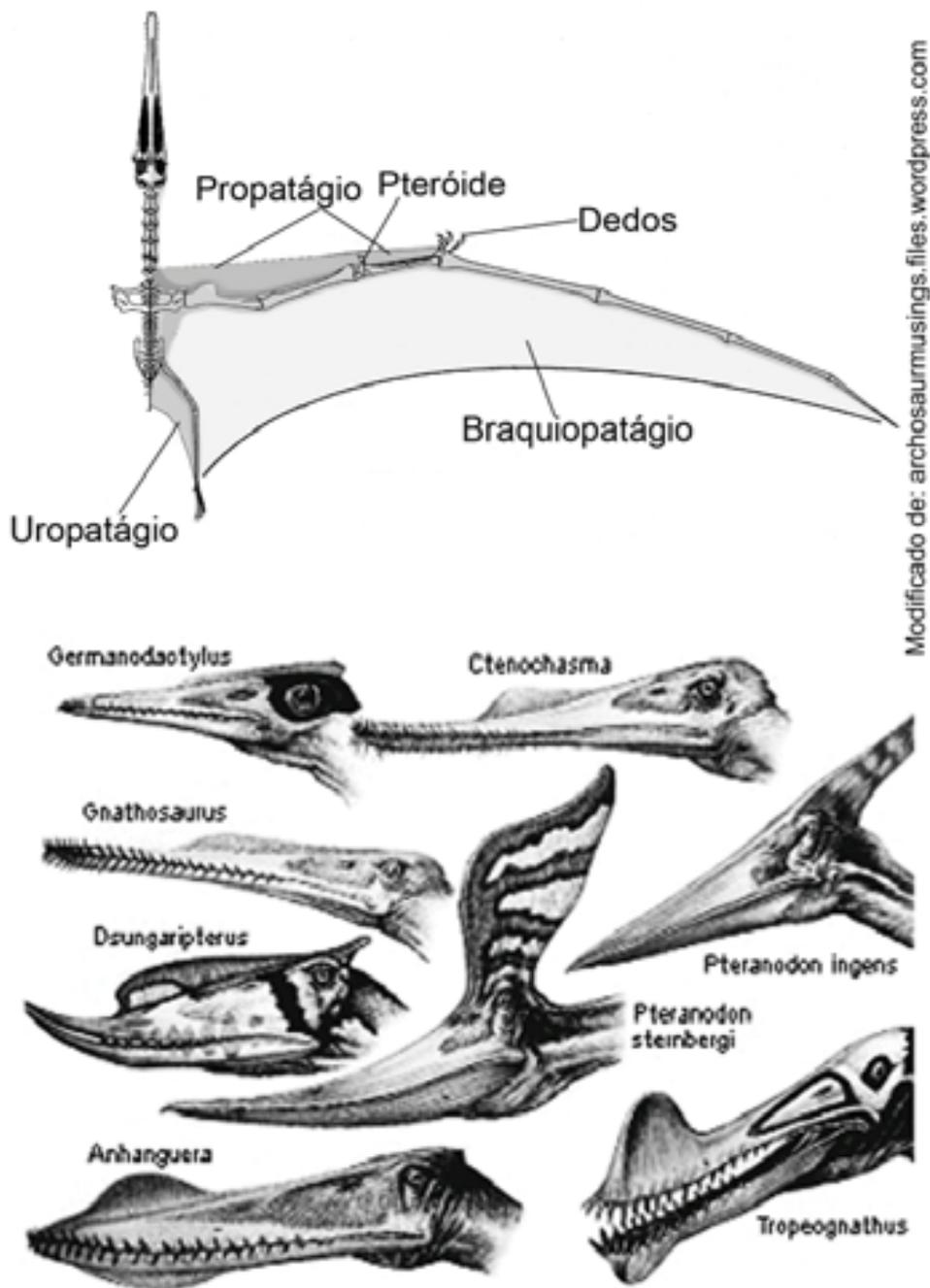
OUTROS ARCHOSAURIA

Fora os crocodilianos, vistos no capítulo anterior, Archosauria agrupa os Pterosauria e os Dinosauria, tanto suas formas mais antigas (Ornithischia e Saurischia), quanto as mais derivadas, as Aves. Os Archosauria estão associados à grande irradiação dos Tetrapoda, ocorrida na era Mesozóica.

Filogenia de Achosauria.

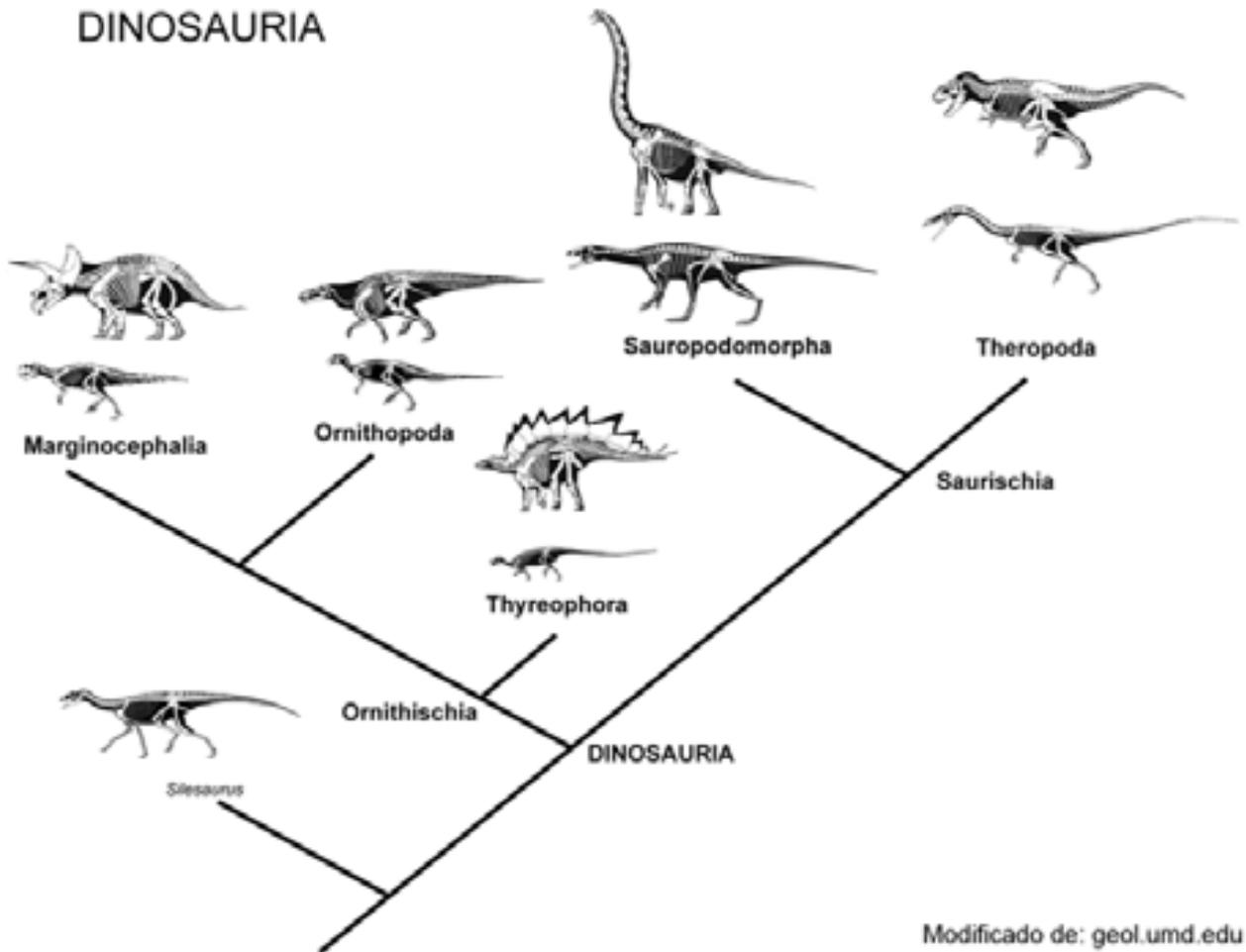
PTEROSAURIA

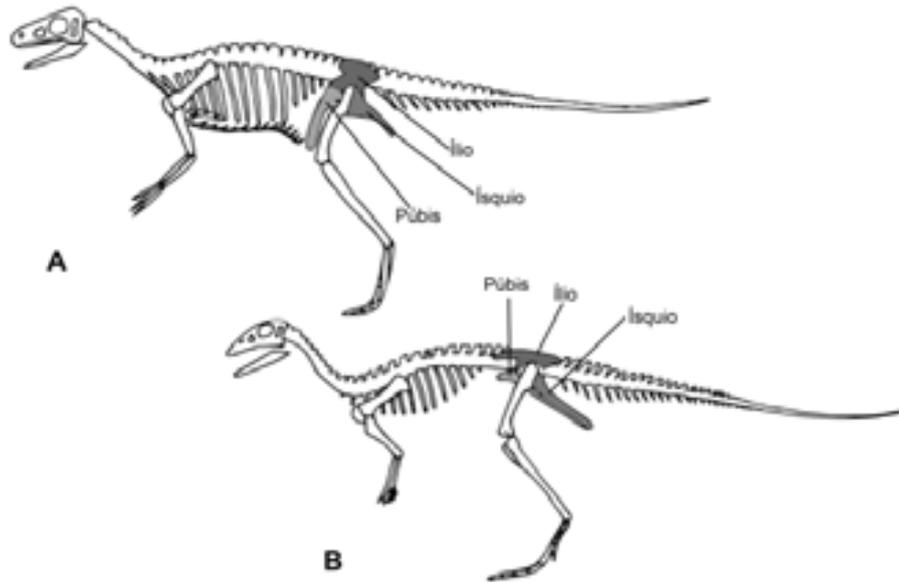
Os Pterosauria, não são considerados dinossauros ou mesmo aves. Na realidade representam um grupo de répteis alados que surgiu há pelo menos 228 milhões de anos e se extinguiu há 65 milhões de anos atrás, não deixando qualquer tipo de descendente. Com exceção da Antártida, fósseis de pterossauros já foram encontrados em todos os continentes.

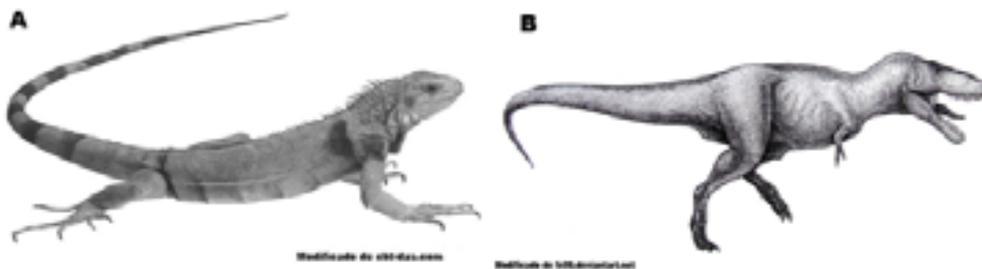
Comparação do tamanho da maior espécie de Pterosauria (*Quetzalcoatlus* sp. com 13 m), uma girafa e um homem.

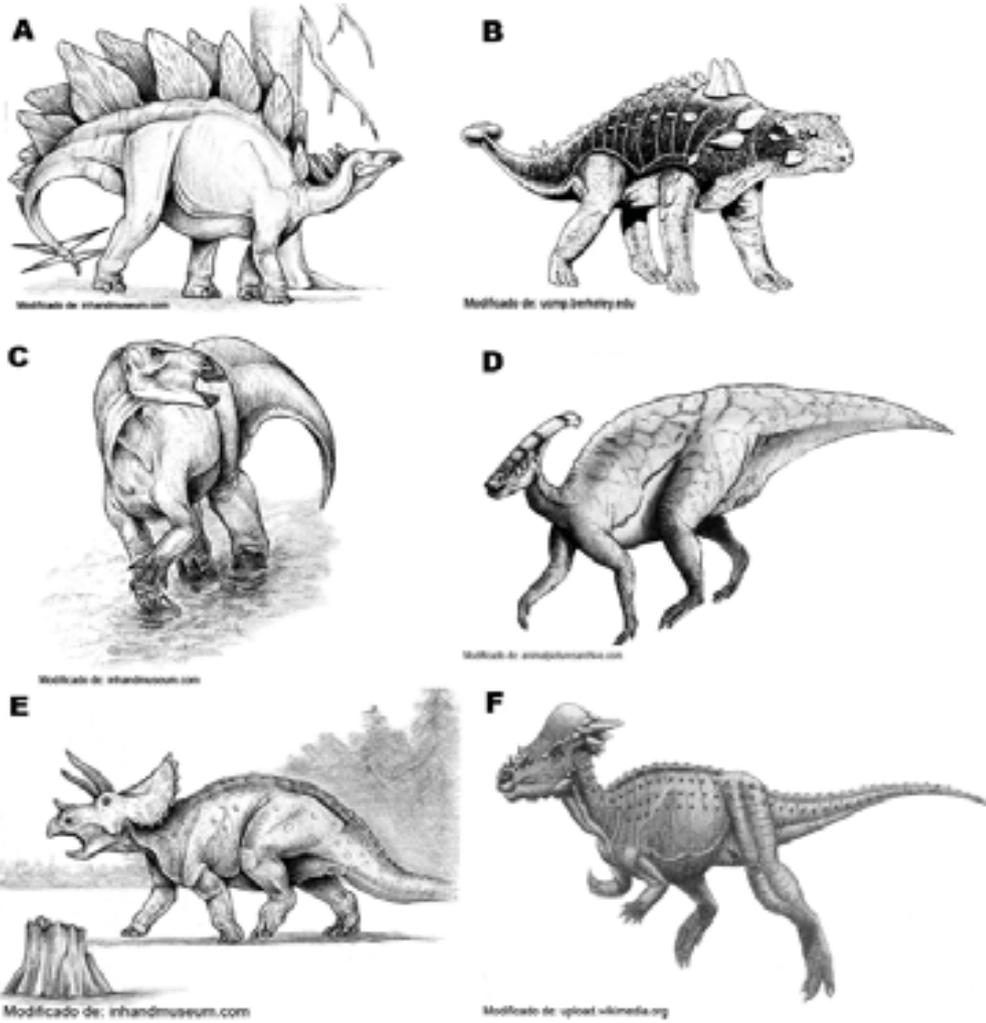
A envergadura da asa podia variar, desde um pouco mais de um palmo, até mais de 10 metros. O quarto dígito desses animais é alongado e forma a base para a membrana alar. A mão é composta, além do dígito alar, por mais três dedos menores. A região metacarpal é bem desenvolvida. Também possui um osso próximo a mão, o pteróide, que é único para o grupo. Os ossos longos dos Pterosauria eram ocos, reduzindo o peso com pouca perda de resistência. O esterno, ao qual se fixavam os poderosos músculos do vôo, era bem desenvolvido, embora não formasse uma quilha, como observado nas aves. Possuíam olhos grandes e as porções do encéfalo relacionadas à visão eram bem desenvolvidas, e as associadas ao olfato, pequenas, fato comprovado através de moldes das cavidades encefálicas. O cerebelo era grande, provavelmente relacionado ao equilíbrio e à coordenação dos movimentos durante o vôo. Havia tanto espécies que apresentavam dentes, como aquelas desprovidas destas estruturas. Cristas com formas variadas também podiam estar presentes.

Morfologia de Pterosauria.

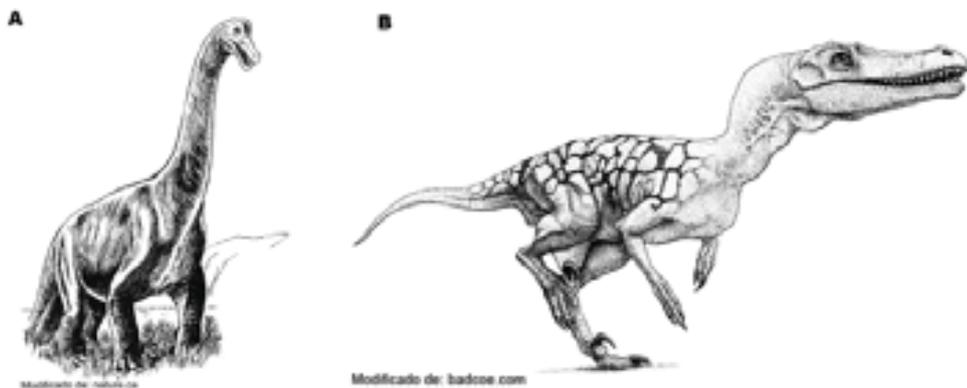
DINOSAURIA

Os animais conhecidos como dinossauros evoluíram a partir de répteis arcossauros, conhecidos como tecodontes. A palavra Dinosauria é derivada do grego (deinos = terrível / saurus = lagarto), sendo um termo adotado para designar dois grandes grupos de arcossauros da Era Mesozóica: os Saurischia e os Ornithischia.

Filogenia de Dinosauria.

Os Saurischia ("pelve de lagarto") compreendem todos os Theropoda (carnívoros bípedes) e os Sauropodomorpha (quadrúpedes, em geral de pescoço e cauda longas), cujos ossos da bacia apresentam-se separados, semelhantes aos dos lagartos. Já os Ornithischia ("pelve de ave") tinham os ossos da bacia um ao lado do outro, e compreendem todos os outros tipos de dinossauros (Thyreophora, Marginocephalia e Ornithopoda). Nos Saurischia quadrúpedes o púbis se projetava cranialmente, já nos Ornitischia, caudalmente. O ílio dos Ornithischia também era alongado e posicionado cranialmente.

Forma da pelve dos dinossauros Saurischia (A) e Ornithischia (B).

Os dinossauros eram criaturas únicas, intermediárias entre os répteis e as aves. Como os répteis possuíam tegumento com escamas e ovos do tipo amnióticos, tinham caudas longas e fortes e dentes do tipo homodonte. Porém diferiam dos outros répteis quanto à posição ocupada pelos membros. Os dinossauros tinham os membros localizados logo abaixo do tronco, semelhante ao observado nas aves e nos mamíferos, já nos outros sáurios, sua posição era lateral ao corpo.

Posição dos membros de um lagarto (A) e de um dinossauro (B).

A maioria dos Ornithischia apresentava, provavelmente, maxilas e bicos córneos no lugar de dentes na porção rostral da boca. Três grupos principais de dinossauros Ornithischia podem ser reconhecidos: 1) Thyreophora, representado por formas quadrúpedes encouraçadas como Stegosauria (com duas fileiras de placas de espinhos no dorso e na cauda) e Ankylossauria (alguns com caudas claviformes); 2) Ornithopoda, formas bípedes, incluindo os dinossauros bicos-de-pato; 3) Marginocephalia, os Pachycephalosauria (formas bípedes com crânios extremamente espessos) e os Ceratopsia (quadrúpedes com cornos).

Ornithischia: 1) Thyreophora (A e B); 2) Ornithopoda (C e D) e 3) Marginocephalia (E e F).

Dois grupos de Saurischia são distinguidos, os Sauropodomorpha e os Theropoda. O primeiro grupo era formado principalmente por dinossauros herbívoros quadrúpedes, já o segundo, que inclui as atuais aves, por carnívoros bípedes.

Saurischia: Sauropodomorpha, *Brachiosaurus* (A) e Theropoda, *Velociraptor* (B).

Entre os Theropoda, o grupo conhecido como Coelurosauria, já possuía vários caracteres observados nas aves atuais. Entre os mais interessantes, em relação à origem das aves, estão caracteres normalmente associados ao vôo, como um esterno ósseo fundido e uma fúrcula ("osso da sorte"). A grande ocorrência de uma fúrcula entre os parentes não voadores das Aves mostra que a função original dessa estrutura não envolvia o vôo. Além das características já apontadas, Aves e Theropoda compartilham os seguintes caracteres derivados:
- Pescoço alongado e móvel em forma de "S";
- Pé com três dedos voltados para frente e um direcionado para trás;
- Postura digitígrada (dedos suportam o peso do corpo);
- Formação de uma junta entre os ossos tarsais (junta intertarsal) no lugar de uma junta entre os tarsos e a tíbia+fíbula;
- Ossos ocos, pneumáticos.

A ORIGEM DO VÔO NAS AVES

As penas já estavam presentes em dinossauros não aves, como os Dromeosauria (*Caudipteryx* e *Protoarcheopteryx*). Esta estrutura muito provavelmente contribuiu para que estes animais se tornassem predadores terrestres mais eficientes, porém não tinha originalmente qualquer tipo de participação no vôo.

Dromeossaurus.

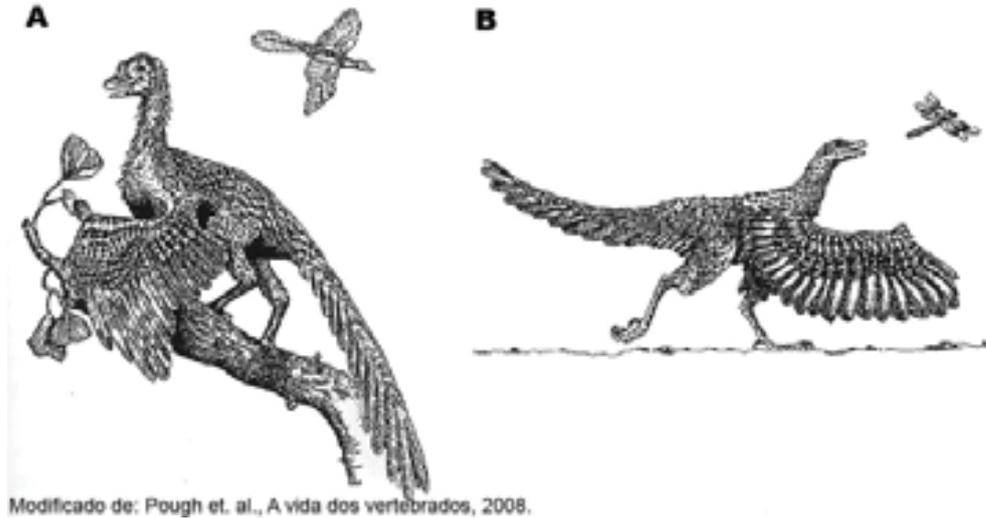
Várias perguntas devem estar passando por sua mente nesse momento:
- Como os dromeossaurus pró-aves mudaram a função de seus membros peitorais e penas em asas e aerofólios?
- Quais foram as pressões seletivas para a evolução das asas e do vôo?

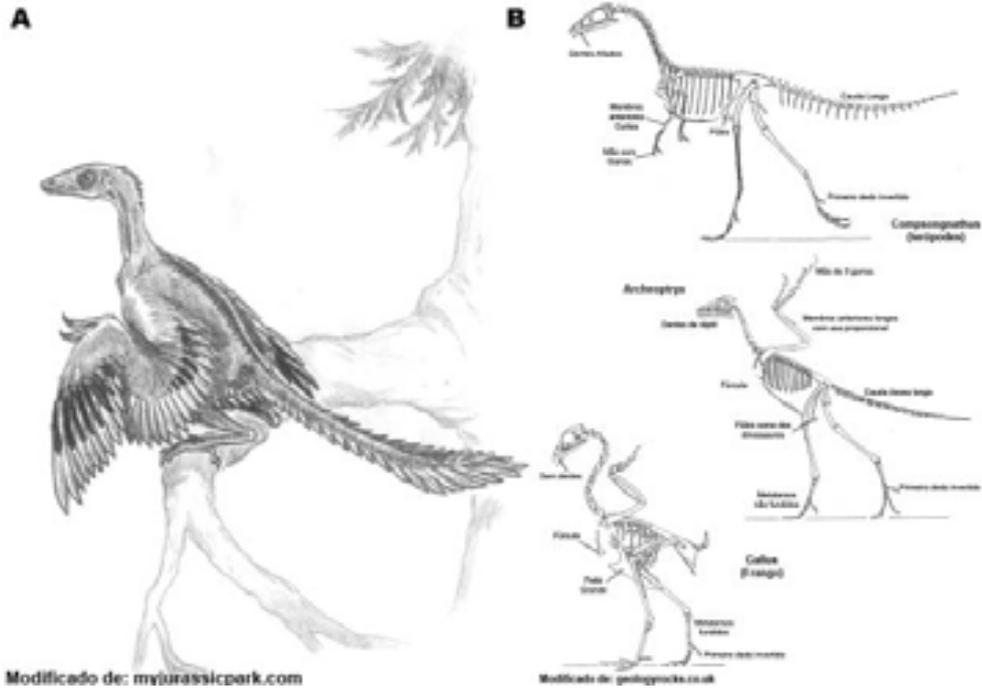
- Como se deu a transição dos dinossauros terrestres (e.g. *Caudipteryx*) para formas voadoras como o *Archaeopteryx*?

Duas hipóteses são propostas quando se fala em evolução do vôo nas aves: a primeira é conhecida como teoria arbórea ("das árvores para baixo") e, a segunda, como teoria terrestre ("do chão para cima"). A teoria arbórea, ou arborícola, pressupõe que os ancestrais de Archaeopteryx eram trepadores arborícolas, que saltavam de galho em galho e de árvore em árvore, semelhante ao que algumas espécies de esquilos, lagartos, macacos e anfíbios fazem atualmente. Com o tempo foram selecionadas formas que favoreciam o aumento da distância e da precisão do deslocamento entre árvores. De acordo com esta hipótese, formas voadoras foram alcançadas passando por estágios planadores e intermediários. A hipótese arborícola ganhou peso com a descoberta de *Microraptor* gui que possuía penas sobre os membros anteriores e posteriores e um tufo na ponta da cauda. As penas do *Microraptor* eram assimétricas, semelhantes as das atuais aves.

Microraptor gui.

A segunda hipótese ("do chão para cima") postula que o vôo batido evoluiu a partir de corredores bípedes terrícolas. Duas versões foram dadas para esta hipótese, a primeira dizia que os ancestrais das aves foram corredores bípedes, velozes, que adotavam suas asas como planadores, para aumentar a força de ascensão e aliviar o peso durante a corrida. As asas eram batidas enquanto o animal corria, de modo a fornecer uma propulsão extra para frente. Com o passar do tempo a musculatura peitoral e as penas tornaram-se suficientemente desenvolvidas ao ponto de sustentar o vôo. Porém essa versão da teoria é falha visto que, para o aumento da aceleração, é necessária uma tração máxima sobre o solo, conseguida pelo contato firme dos pés com o substrato. A segunda versão faz inferência ao uso dos membros anteriores para a captura das presas. Dessa forma, as asas dos ancestrais proto-aves de *Archaeopteryx* evoluíram primeiramente como armadilhas para a captura de presas contra o solo, ou para derrubá-las no chão, facilitando a apreensão pelas garras e dentes. Posteriormente

as asas modificaram-se ainda mais, formando apêndices vibráteis capazes de subjugar presas maiores. A formação das asas poderia ter auxiliado nos saltos horizontais sobre as presas.

Duas reconstruções de *Archeopteryx*; (A) A hipótese das árvores-para-baixo, mostrando *Archaeopteryx* como um trepador arborícola e (ao fundo) planador. (B) A hipótese do-chão-para-cima, mostrando *Archaeopteryx* como um caçador arborícola e cursor.

Archaeopteryx lithographica, do Jurássico Superior da Europa, bem conhecido por cerca de sete esqueletos, representa uma verdadeira transição entre os répteis e as aves: por um lado parece um réptil, pelas maxilas com dentes, uma longa cauda, costelas abdominais e mãos formadas por dedos independentes, com garras nas extremidades; por outro lado é uma autêntica ave, pela caixa craniana desenvolvida, ausência do osso pós-orbital, presença de clavículas desenvolvidas e soldadas, formando uma fúrcula ("osso da sorte") e, principalmente, pela presença de penas. Semelhantemente às aves atuais, *Achaeopteryx* apresentava asas com penas diferenciadas em uma série distal de rêmiges primárias, nos ossos da mão, e uma série interior de rêmiges secundárias ao longo do antebraço. As penas associadas ao vôo em *Archaeopterix* apresentavam vexilos assimétricos, como nas aves voadoras contemporâneas. As rectrizes, penas da cauda, eram arranjadas em 15 pares, ao longo dos lados da sexta até a vigésima vértebra caudal. *Archaeopteryx lithographica* tinha entre 30 e 50 cm e pesava por volta de 500 g. Os pés tinham quatro dígitos, três para frente e um para trás, já as mãos, três dígitos, com garras externas funcionais.

Reconstituição de uma *Achaeopteryx* (A) e análise comparativa dos esqueletos de um terópode, um *Archaeopteryx* e de uma ave recente (B).

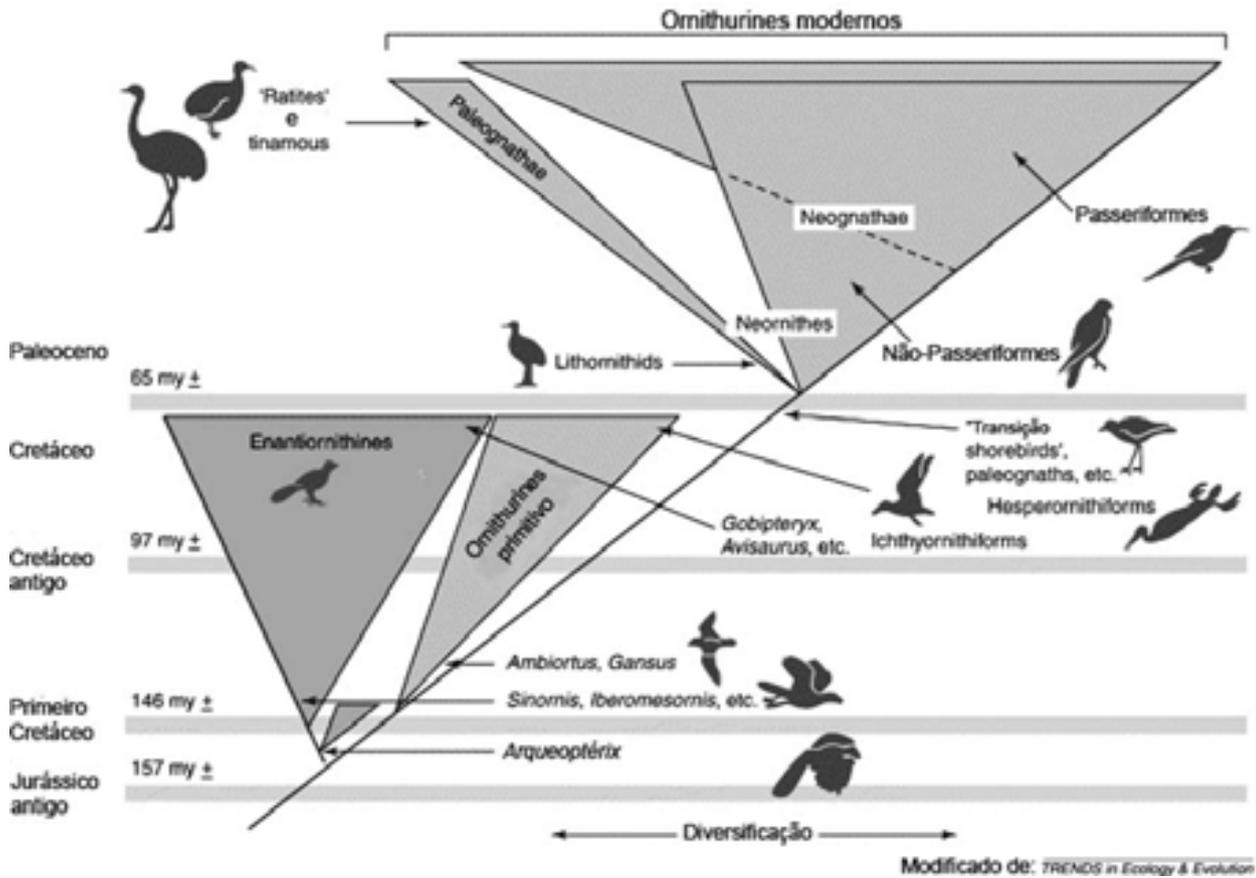
As únicas características esqueléticas que sugerem o vôo são a presença de uma fúrcula bem desenvolvida e um esterno retangular, que provavelmente era associado a fortes músculos. A estrutura do esterno só foi conhecida a partir do sétimo espécime de *Archaeopteryx*. Diversas características críticas para o vôo estão ausentes nestes animais como: carpometacarpo fundidos, articulações do pulso e do cotovelo limitadas e um coracóide modificado. Provavelmente não podia pousar em árvores, pois reteve a estrutura do pé primitiva (cursorial), que não permitia se agarrar a um galho. Aves que empoleiram possuem garras mais arqueadas quando comparadas às espécies cursoras. Muito provavelmente *Archaeopteryx* aterrissavam correndo, semelhante ao que fazem as galinhas, codornas e faisões.

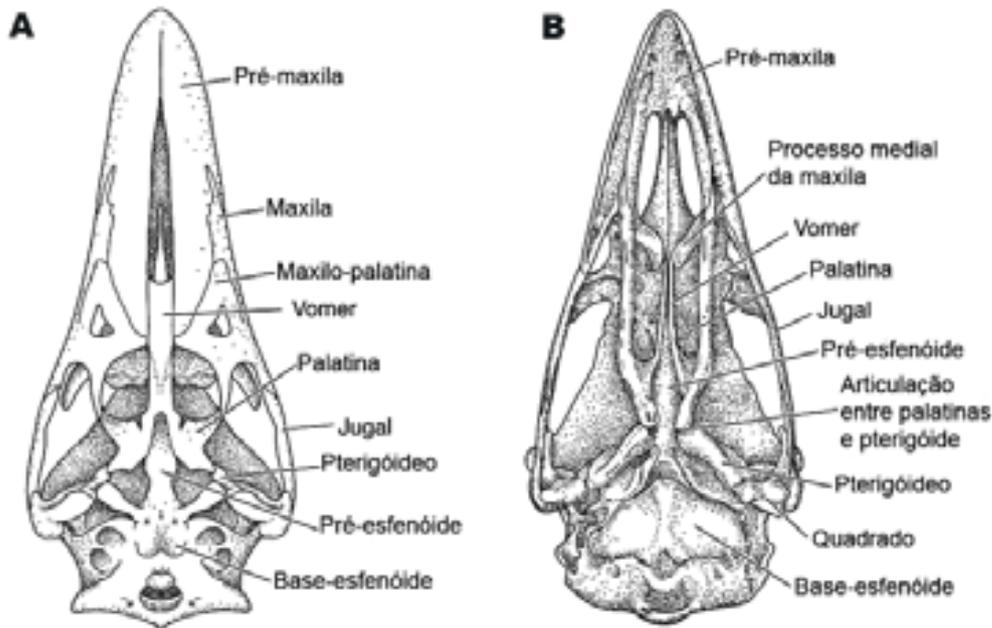
Estrutura das garras de aves cursoriais e empoleiradora.

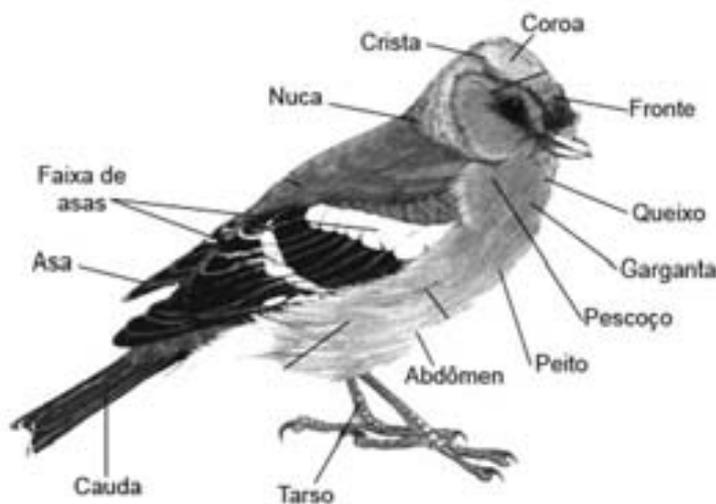
Antes de passarmos às características das aves atuais (Neornithes), vamos ver mais algumas informações sobre formas intermediárias como *Iberomesornis* e *Sinornis*. Os *Iberomesornis* apresentavam cintura peitoral mais derivada, um coracóide desenvolvido, ulna mais longa que o úmero e uma cauda reduzida, com uma série de vértebras livres e um pigóstilo. Os pés possuíam garras curvas e o hálux oponível, características essas indicativas de possível capacidade de empoleiramento. *Sinornis* (Enantiornithes) tinha o tamanho aproximado de um pardal. O tronco era curto e sua coluna vertebral continha apenas 11 vértebras dorsais. Como nas aves modernas, o pulso podia se curvar fortemente para trás e o esterno apresentava quilha desenvolvida. Possuíam uma álula que contribui para o aumento da capacidade de manobra em vôo de baixa velocidade. Acredito que tenha percebido que as características que permitiram o vôo das aves apareceram de forma gradativa, algumas delas estão apresentadas no cladograma seguinte.

Iberomesornis (A) e *Sinornis* (B).

AVES ATUAIS

As aves modernas, os Neornithes, começaram a se diversificar durante a última parte do Cretáceo, substituindo os Enantiornithes como as formas de aves predominantes. A principal irradiação das famílias das aves ocorreu durante o Cretáceo, e o Eoceno foi o período de maior diversificação do grupo. São reconhecidas hoje por mais de 9.600 espécies distribuídas em 29 ordens e 197 famílias (classificação disponível em Pough et al., 2008).

Representatividade e período de origem dos grupos de aves.

A filogenia das aves é bastante controversa, sendo complicado fornecer um cladograma que represente uma hipótese amplamente aceita das relações evolutivas. As aves ratitas (Struthioniformes, Rheiformes, Casuariiformes e Dinornithiformes), que não voam, compartilham com os Tinamiformes (macucos e inambus) a estrutura paleognata do palato. Este palato caracterizado pelos pré-vômeres que se estendem caudalmente para se articularem com os palatinos e pterigóides, e os grandes processos basipterigóides que se articulam com os pterigóides. A outra forma de palato é conhecida como neognata. Neste caso os vômeres são reduzidos ou completamente perdidos, há uma junta móvel entre o palatino e o pterigóide e não há articulação entre pterigóide e a caixa craniana.

Estrutura do palato dos aves: (A) paleognata e (B) neognata.

As aves possuem cabeça distinta; pescoço longo e flexível e um forte corpo (tronco) fusiforme. Os membros anteriores são modificados em asas, com longas penas apropriadas ao vôo (rêmiges). Em cada membro posterior os dois seguimentos superiores são musculosos, enquanto que o pé contém tendões, mas poucos músculos, e é revestido por escamas córneas, que não são substituídas, assim como os quatro dedos que terminam em garras também córneas. A cauda é curta com longas penas, as rectrizes. A boca é modificada em um bico, com revestimento córneo (fortemente queratinizado). Na maxila superior há duas narinas em forma de fenda. Os olhos são grandes e laterais. Possuem pálpebra superior, inferior e membrana nictitante membranosa, que pode se mover independentemente, cruzando o globo ocular a partir do canto anterior. Por baixo e atrás de cada olho há uma abertura do ouvido, escondida embaixo de penas especiais.

Morfologia externa de uma ave.

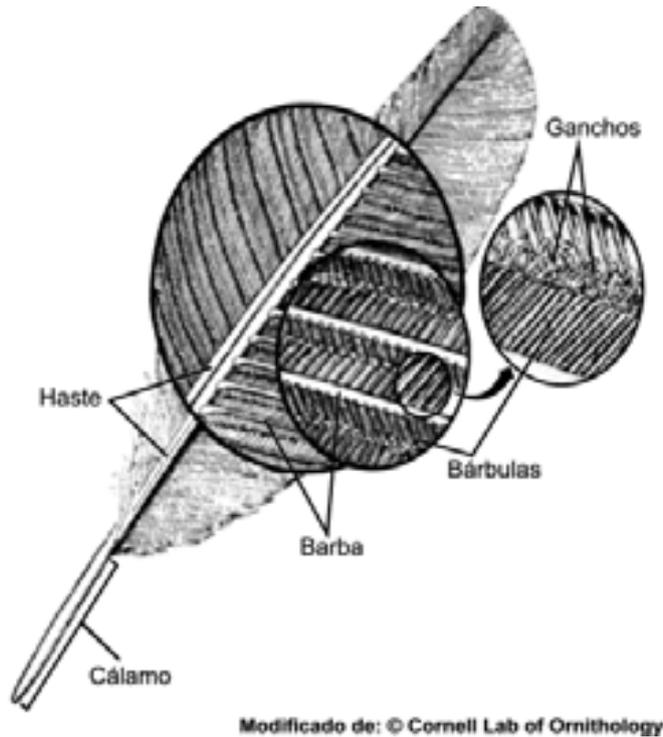
As aves apresentam, sobre a maior parte do corpo, uma pele delgada, pouco queratinizada, que se encontra frouxamente unida aos tecidos subjacentes. As glândulas normalmente estão ausentes, exceção apenas da conhecida como uropigial, que está localizada acima da base da cauda, e é responsável pela secreção de uma substância oleosa que impermeabiliza as penas e evita que o bico torne-se quebradiço (mais desenvolvidas nas aves aquáticas).

PENAS

Como já visto na disciplina Anatomia Comparada dos Cordados, as penas são estruturas epidérmicas peculiares que constituem um revestimento leve e flexível, porém resistente, com inúmeros espaços aéreos úteis como isolante. Essas estruturas protegem a pele contra o desgaste, e as penas finas, achatadas e sobrepostas das asas e da cauda formam superfícies para sustentar a ave durante o vôo. Outra função importante das penas, em aves aquáticas, é o auxílio para uma maior flutuação. A parte inferior do corpo das aves nadadoras é densamente coberta por penas, entre as quais podem ser armazenado ar.

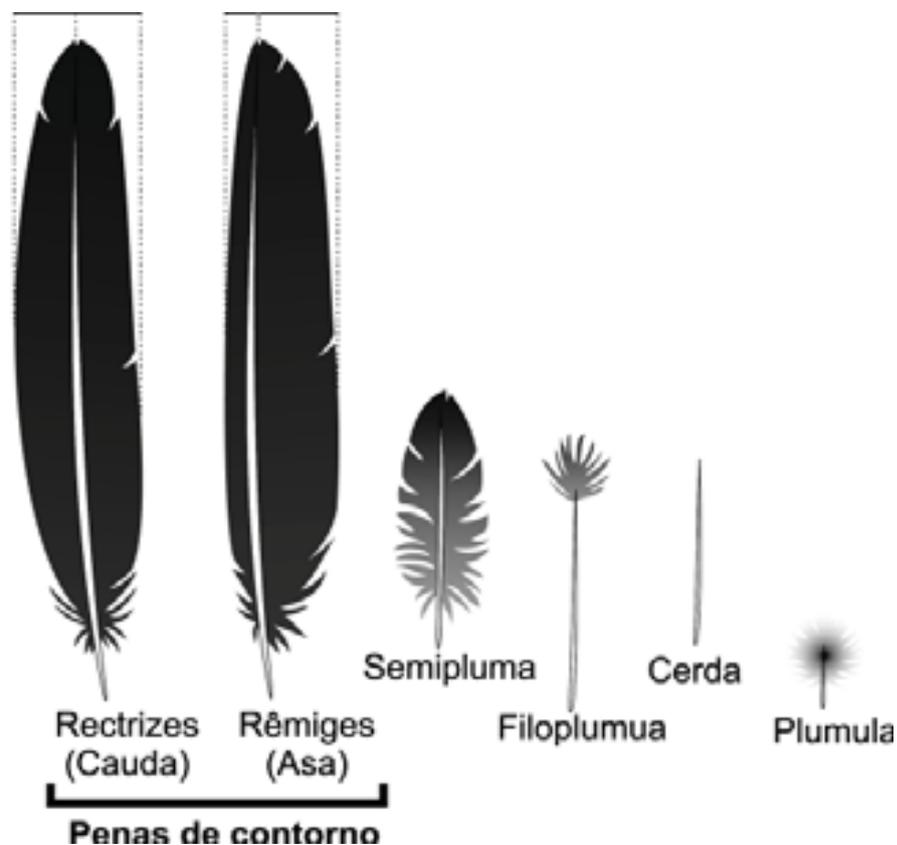
Apesar da complexidade estrutural, as penas são relativamente simples e uniformes quanto à composição química. Mais de 90% da pena consiste de beta-queratina, uma proteína relacionada com a queratina das escamas e com os pêlos e cornos dos mamíferos. Aproximadamente 1% da pena consiste de lipídeos, cerca de 8% é água e a fração restante é composta de pequenas quantidades de outras proteínas e pigmentos, tal como a melanina.

A coloração das penas pode ser dada por grânulos de pigmento, por difração e reflexão da luz, como resultado da estrutura das penas, ou por ambos. Embora a cor de diversas aves esteja sob controle genético, podendo ser modificada por fatores internos e externos, como a alimentação, a ação hormonal, a oxidação e a abrasão.

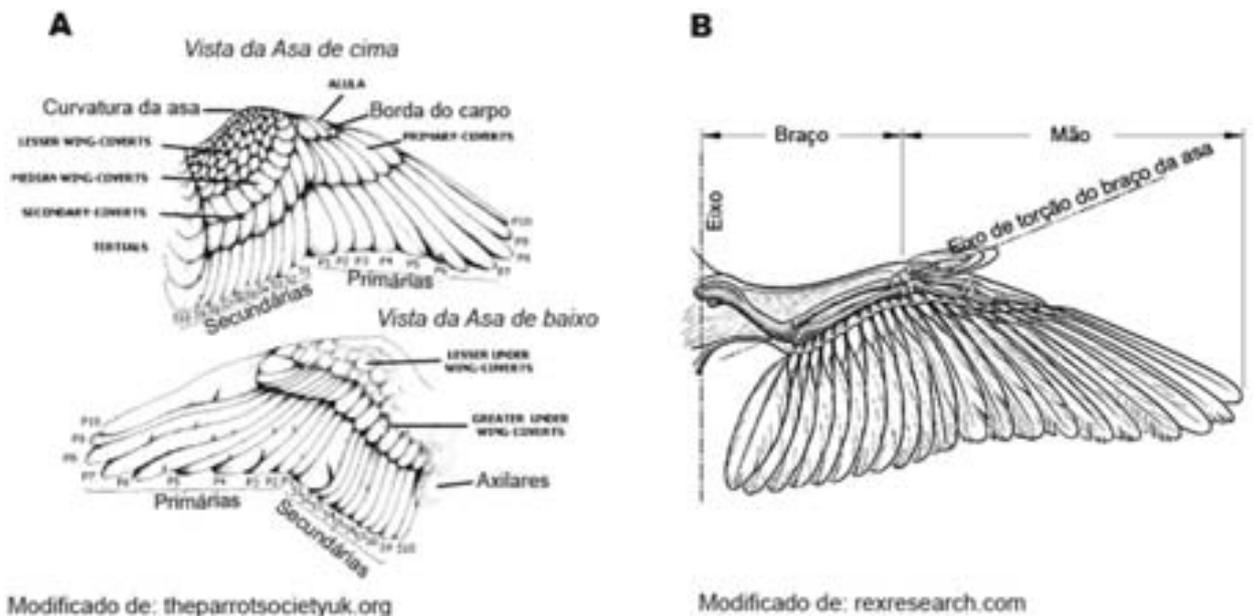
Com exceção dos avestruzes, pingüins e de algumas outras aves completamente cobertas por penas, as penas só crescem em certas áreas da pele, as pterilas, entre as quais há espaços vazios, aptérios. O conjunto de todas as penas de uma ave é chamado plumagem e o processo de substituição das mesmas é conhecido como muda. A muda é geralmente um processo gradual e ordenado, no qual as grandes penas das asas e da cauda são mudadas em pares simétricos para que o vôo não seja prejudicado. Os patos mudam todas as penas das asas simultaneamente e não podem voar enquanto as novas penas não crescem. As penas são perdidas uma ou, menos frequentemente, duas vezes por ano.

Estrutura de uma pena de contorno.

Normalmente são distinguidos seis tipos de penas:

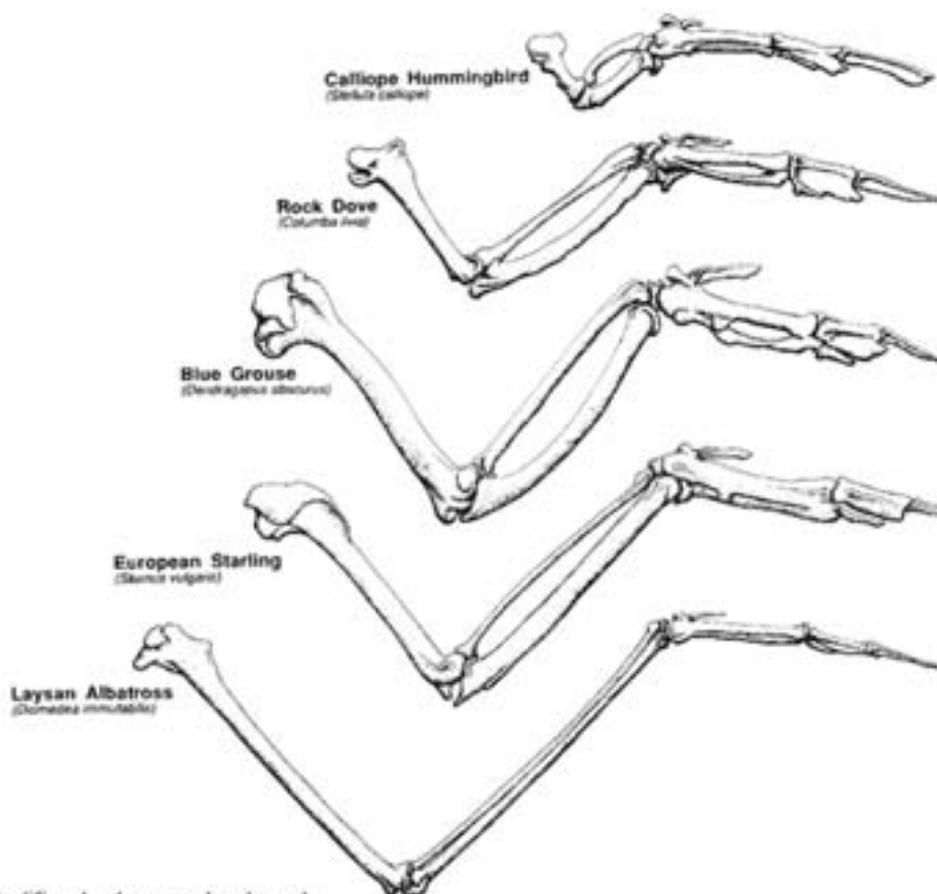
- Penas de contorno - penas que fornecem o revestimento externo e estabelece os contornos do corpo da ave, incluindo as grandes penas do vôo das asas (rêmiges primárias e secundárias) e da cauda (retrizes). Consiste de um vexilo achatado, sustentado pela raque central que é uma extensão do cálamo oco preso ao folículo (haste = cálamo + raque). Cada metade do vexilo é constituída por muitas barbas estreitas, paralelas e muito próximas entre si, saindo dos lados da ráquis. Lateralmente a cada barba há numerosas bárbulas menores, paralelas, e estas apresentam minúsculos ganchos ou hâmulos, que servem para segurar levemente as fileiras opostas de bárbulas ente si. Muitas aves possuem penas de contorno duplas – uma pena principal unida, em sua base, a uma pena mais curta e mais macia, denominada hipopena.
- Plúmulas – plumagem macia que recobre o corpo de aves jovens e adultas, fornecendo excelente isolamento térmico. A plúmula tem cálamo curto, ráquis reduzida e longa e flexíveis barbas com bárbulas curtas, sem ganchos. Plúmulas estão presentes por baixo das penas de contorno em patos, de muitas outras aves aquáticas e de algumas aves terrestres. A papila da glândula uropigial possui, normalmente, um tufo de plúmulas modificadas, em forma de pincel, que ajuda a transferir a secreção oleosa da glândula para o bico, a fim de fornecer à plumagem impermeabilização.
- Semiplumas – são penas com estrutura intermediária entre penas de

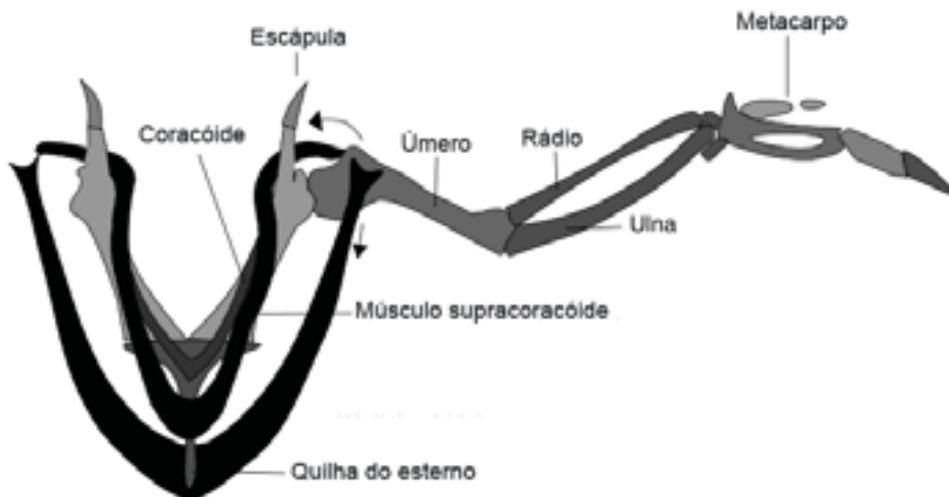
contorno e plúmulas. Elas combinam uma raque grande com vexilos inteiramente plumáceos e podem ser distinguidas das plúmulas pelo fato da raque ser mais longa do que a maior barba. Ficam, em geral, escondidas sob as penas de contorno. Elas fornecem isolamento térmico e ajudam a preencher o contorno do corpo de uma ave.
- Filoplumas – são minúsculas penas filiformes com poucas barbas e bárbulas. Encontram-se espaçadamente distribuídas sobre o corpo, crescendo em grupos próximos dos folículos de algumas penas de contorno e podem ter uma função sensitiva no controle do movimento das penas. Apresenta numerosas terminações nervosas nas paredes de seus folículos e estes nervos conectam-se a receptores de pressão e de vibração ao redor dos folículos. Transmitem, aparentemente, informações sobre a posição e o movimento das penas de contorno, via esses receptores.
- Cerdas – penas modificadas em forma de pêlo, com cálamo curto e ráquis delgada com pouca ou nenhuma barba na base, são encontradas próximas às narinas, nas quais filtram a poeira, e em torno do bico de curiangos, funcionando como uma armadilha táctil (órgão sensorial) para os insetos.
- Plúmulas pulverulentas ou de pó – penas cujas barbas, nas extremidades, se desintegram à medida que crescem, formando um pó fino que as impermeabiliza. O pó é distribuído quando as aves se alisam. Plumas pulverulentas

Tipos de penas.

ESTRUTURA DA ASA E CARACTERÍSTICAS DO VÔO

As asas das aves funcionam tanto como um aerofólio, superfície de sustentação e ascensão, quanto como um propulsor de movimento para frente. Inseridas nos ossos da mão, estão as rêmiges primárias, que executam a maior parte da propulsão quando a ave bate suas asas. Já as rêmiges secundárias se fixam ao longo do antebraço, fornecendo a força de sustentação. As aves possuem a capacidade de alterar a área e a forma de suas asas, bem como sua posição em relação ao corpo. Estas alterações influenciam na velocidade e na força de sustentação, que permite a ave manobrar, mudar de direção, aterrissar e decolar.

Estrutura de uma asa.

Em relação ao tamanho do corpo, as asas podem ser grandes ou pequenas, resultando respectivamente em uma leve ou pesada carga na asa. Elas podem ser longas e pontudas, curtas e arredondadas, muito arqueadas ou relativamente planas, sendo sua largura e número de fendas características adicionais importantes. O comprimento dos vários segmentos (mão, antebraço e braço) que compõem a asa é variado e diretamente relacionado ao tipo de vôo (batido ou planado) adotado. Os ossos da mão dos beija-flores, por exemplo, que utilizam o vôo batido, são mais longos do que o braço e antebraço juntos. A maior parte da superfície de vôo dos beija-flores é formada pelas rêmiges primárias e eles têm apenas seis ou sete rêmiges secundárias. As fragatas são espécies marinhas com asas longas e estreitas, especializadas tanto para o vôo potente como para o vôo planado. Todos

os três segmentos dos membros anteriores são aproximadamente iguais em comprimento. Os albatrozes, planadores de altitude, são as aves que possuem as asas mais longas. O antebraço é o segmento mais longo, e na parte interna de sua asa podem ser encontradas até 32 rêmiges secundárias.

Ossos das asas de algumas aves.

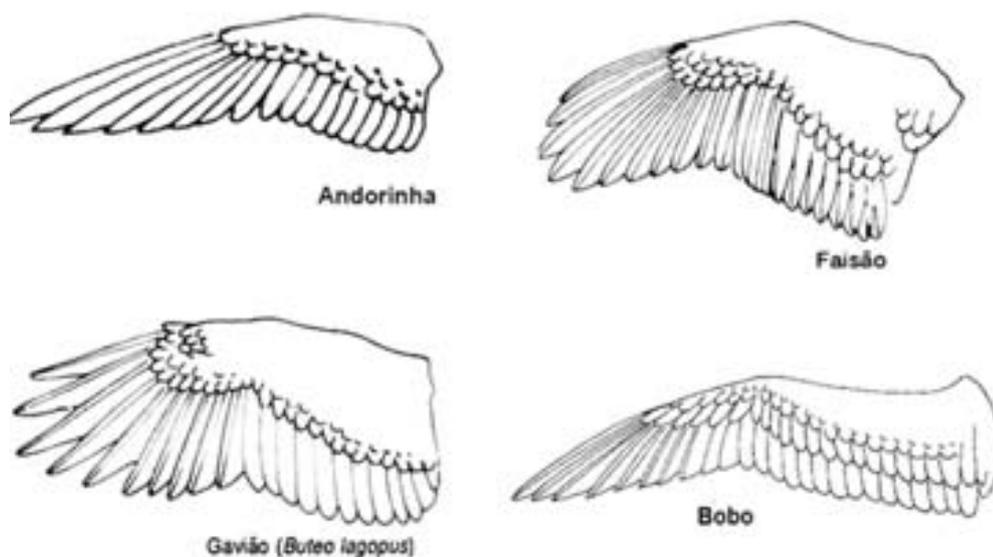
Fortes músculos são exigidos para o estabelecimento do vôo. A contração do grande músculo do peito, o grande peitoral, promove o abaixamento da asa, já o músculo supracoracóideo é responsável por elevar esta estrutura. Aves com vôo desenvolvido possuem musculatura mais escura, visto a grande presença de mioglobina, molécula que retém grandes quantidades de oxigênio, necessárias às atividades das fibras musculares. Nos voadores potentes, tais como pombos e falcões, os músculos do peito chegam a ser mais do que 20 % da massa corpórea, enquanto que algumas corujas, que suportam uma carga na asa muito pequena, os músculos de vôo chegam a somente a 10 % da massa total.

Estrutura de uma asa evidenciando os ossos e os músculos envolvidos no vôo.

De forma bem simplificada, as aves podem estabelecer vôos planados e/ou batidos. Todas as aves são capazes de esticar suas asas e planar, e várias espécies podem inclusive aproveitar correntes ascendentes de ar para planar em altitude. O batimento das asas, especialmente das pontas (rêmiges primárias), produz a propulsão, necessária no início do vôo, enquanto a parte interna das asas (rêmiges secundárias) é mantida quase estacionária em relação ao corpo gerando uma força de sustentação.

Diferentes posições das asas durante o vôo de uma ave.

TIPOS ESTRUTURAIS E FUNCIONAIS DAS ASAS E VÔO

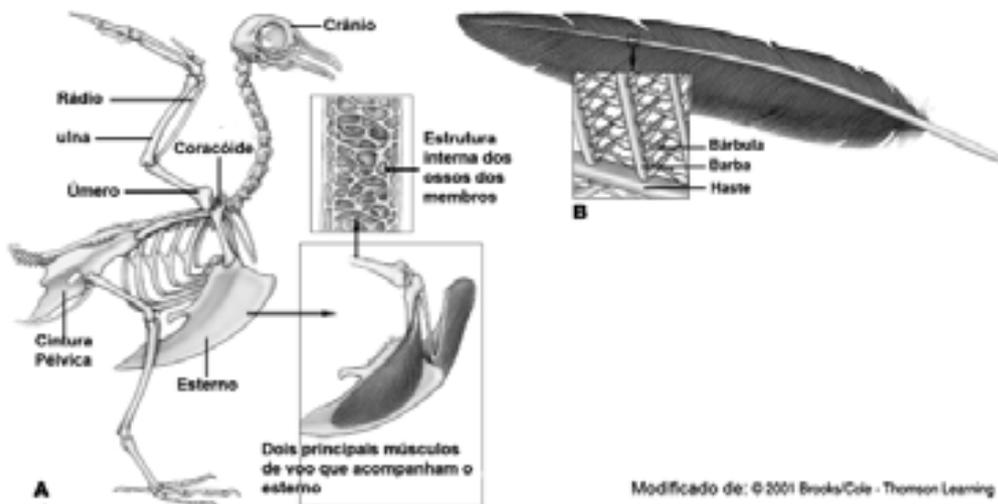
- Asas elípticas: típicas de aves que vivem em florestas que são obrigadas a manobrar entre obstruções. Tendem a ser muito arqueadas e normalmente têm várias fendas nas rêmiges primárias externas. Essas características estão geralmente associadas ao vôo lento e um alto grau de mobilidade. Mantêm o vôo rápido apenas em distâncias curtas. Ex. Galliformes.

- Asas de alta velocidade (alto coeficiente de proporcionalidade): presentes em aves que se alimentam em pleno vôo, fazem migrações longas ou suportam uma grande carga na asa que se relaciona a algum outro aspecto de suas vidas, tal como o mergulho. São asas de ponta fina, um perfil achatado (pouco arqueado) e comumente não possuem fendas nas rêmiges primárias externas.
- Planadora ascendente dinâmica: típicas de aves marinhas, particularmente os albatrozes e bobos, que dependem do planeio. Possuem asas longas, estreitas e achatadas, faltando-lhes fendas nas rêmiges primárias externas. Este tipo de vôo é possível somente quando existe um pronunciado gradiente vertical de vento, com cerca de 15 metros de ar sendo desacelerado devido à fricção com a superfície do oceano.
- Planadora de altitude tangente: também utilizado por albatrozes. Neste tipo de vôo a ave plana paralelamente à face da onda na direção do vento, usando uma força de sustentação tangente, que é proveniente da deflexão do vento para cima, pela onda.
- Planeio em altitude estático (grande sustentação): presente nos abutres, águias, cegonhas e em algumas outras aves grandes. Possuem um tipo de asa de forte sustentação, fendida e muito arqueada, com fendas pronunciadas nas rêmiges primárias. Aproveitam correntes de ar quente e, quando a ave está em vôo, as pontas das rêmiges primárias viram-se nitidamente para cima, sob a influência da pressão do ar e do peso corpóreo. As asas amplas garantem uma leve carga na asa e as fendas bastante pronunciadas acentuam a mobilidade, respondendo às alterações das correntes aéreas com mudanças nas posições das penas individualmente, em vez de movimentar toda a asa.

Tipos estruturais de asas.

OUTRAS ADAPTAÇÕES AO VÔO

Na disciplina Anatomia Comparada dos Cordados vimos características de vários sistemas de órgãos das aves. Muitas delas são adaptativas ao vôo e, por conta disso, vou repassá-las rapidamente, acrescentando mais algumas informações.

O aparecimento do vôo nas aves implicou uma redução máxima do peso dos ossos, sem prejudicar a estabilidade do esqueleto. Para isso muitos ossos (pneumáticos) adquiriram cavidades aéreas que reduzem o peso destas estruturas, além de um reforço, as trabéculas, que fornecem resistência aos mesmos. Nem todas as aves possuem ossos pneumáticos, e aves mergulhadoras (pingüins, mergulhões Gaviidae) têm pouca pneumatização. A distribuição da pneumatização entre os ossos do esqueleto também varia. Em praticamente todas as aves o crânio é pneumático, e o esterno, a cintura escapular e o úmero, também pneumáticos, fazem parte de um sistema interconectado de sacos aéreos, que permite um fluxo de ar em uma única direção, através dos pulmões. A pneumatização estende-se pelo resto do esqueleto apendicular de algumas aves, mesmo nas falanges.

O crânio é uma das partes do esqueleto que mostram nitidamente a economia de substância óssea quando se trata de aves voadoras. Enquanto bacuraus e corujas têm um crânio levíssimo, esponjoso, marrecas que voam pouco, mas mergulham muito, possuem um crânio de osso maciço.

Algumas adaptações ao vôo das aves.

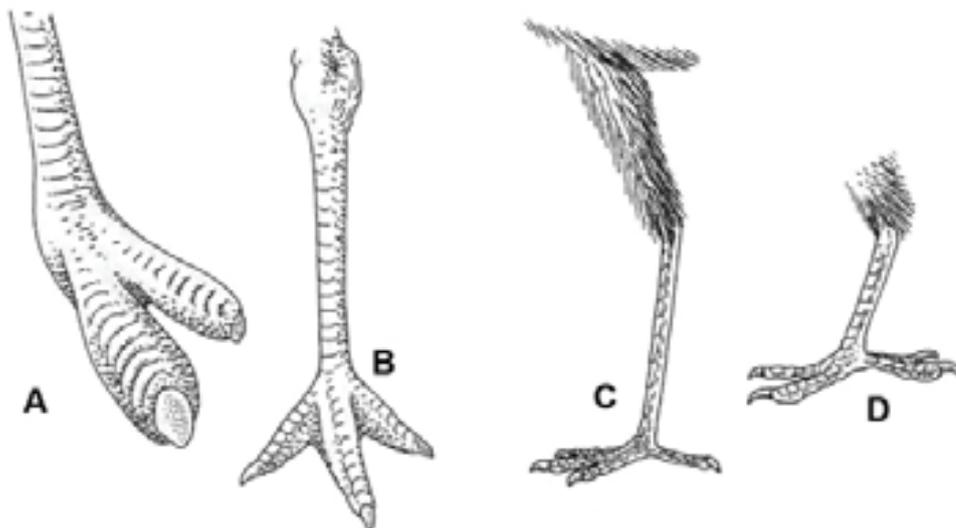
O esqueleto de uma ave é muito semelhante ao de um pequeno Archosauria bípede, diferindo apenas pelas especializações associadas com o vôo. Possuem cintura pélvica alongada, e o ísquio e o ílio alargam-se em lâminas finas que são firmemente unidas ao sinsacro, formado pela fusão de 10 a 23 vértebras. A longa cauda ancestral diminuiu nas aves atuais, e um pigóstilo foi formado pela fusão das vértebras distais. O pigóstilo sustenta as penas da cauda, as rectrizes. As vértebras torácicas, que são relativamente imóveis, o sinsacro e o pigóstilo combinados com a cintura pélvica alongada, produzem uma coluna vertebral quase rígida. A flexão é possível somente no pescoço, na articulação entre as vértebras torácicas e o sinsacro; e na base da cauda. O tronco rígido equilibra-se nas pernas. O fêmur projeta-se rostralmente e sua articulação com a tíbia-tarso e a fíbula é próxima ao centro de gravidade da ave. O esterno é muito expandido, formando uma quilha a partir da qual se originam os músculos grande peitoral e supracoracóideo. Uma proteção adicional é fornecida pelas clavículas que, na maioria das aves, são fundidas na sua extremidade distal, formando a fúrcula. A estrutura óssea dos membros anteriores, as asas, corresponde basicamente à dos répteis e mamíferos, porém os dedos são rudimentares e os ossos da mão soldados, estabilizando a asa. Nas aves corredoras, as ratitas, a quilha esternal desapareceu, juntamente com a musculatura de vôo.

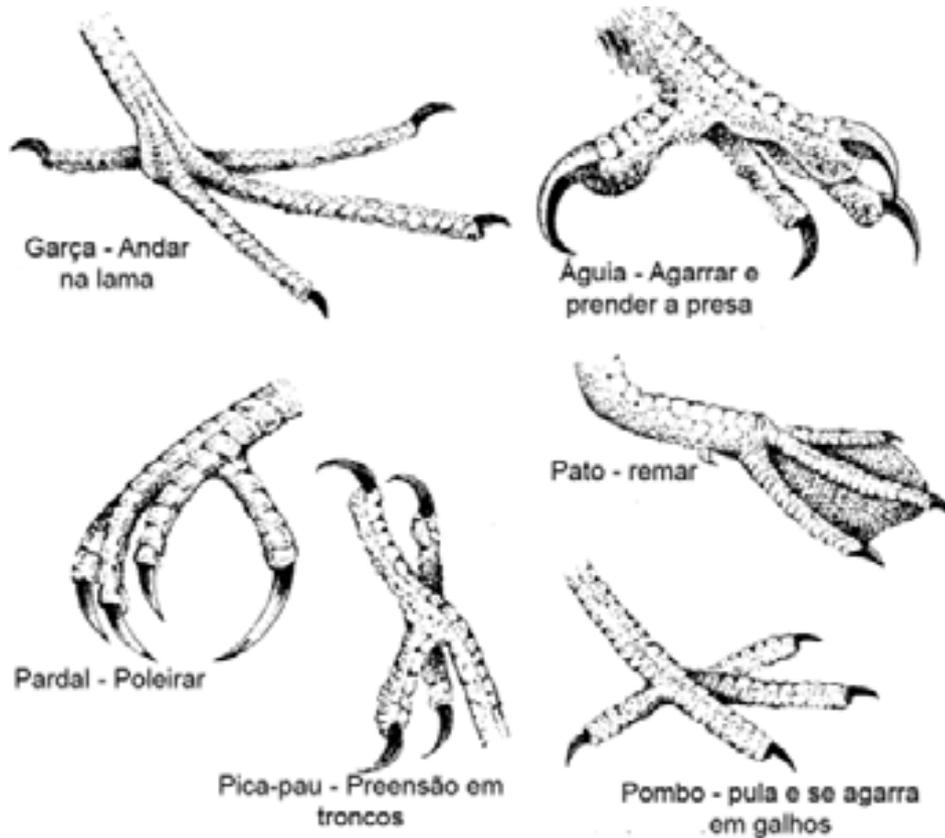
Algumas outras adaptações em relação ao vôo também devem ser consideradas, como a ausência de bexiga urinária nas espécies voadoras e a produção de ácido úrico, como produto final do metabolismo, que não necessita de grandes quantidades de água. Essas adaptações do sistema excretor contribuem para a redução do peso do animal. As aves dependem bastante da informação visual e os lobos ópticos são essencialmente grandes. O sentido do olfato não é bem desenvolvido na maioria das aves e os lobos olfativos são correspondentemente pequenos. O encéfalo é relativamente grande e o cerebelo, região relacionada ao controle das atividades locomotoras, bem desenvolvido. O tamanho das gônadas varia muito conforme a época e estágio do desenvolvimento. No período de descanso sexual ou em imaturos, as gônadas podem ser tão pequenas que não se consegue localizá-las. Durante a reprodução aumentam enormemente, até 400 vezes, a depender da espécie. A postura de ovos, característica de todas as aves, contribui também para a redução do peso delas. Imagine se uma ave tivesse que carregar seus ovos durante todo o período de desenvolvimento dos embriões, o custo seria muito alto, principalmente durante o vôo.

OUTRAS FORMAS DE LOCOMOÇÃO

Além do vôo as aves podem utilizar outras formas de locomoção como andar, saltar, escalar, nadar e mergulhar. Como o vôo, essas atividades necessitam de adaptações específicas que iremos trabalhar neste momento.

Adaptações ao hábito cursorial (corrida) podem incluir:
- Aumento progressivo no comprimento dos elementos mais distais dos membros, com relação aos proximais;
- Diminuição da área da planta do pé que entra em contato com o solo;
- Redução no número de artelhos.

Estas características podem aparecer em graus variados entre as aves corredoras. Para um bípede é bem complicado manter o equilíbrio. Como o centro de gravidade necessita ficar sobre os pés, para a manutenção do equilíbrio, a redução da superfície em contato com o solo só pode ser mantida com alguma perda na estabilidade. Aves corredoras como a ema e o avestruz possuem respectivamente três e dois dedos, voltados para frente.

Estrutura dos pés de algumas aves de hábitos cursoriais. (A) avestruz, (B) ema, (C) serpentário e (D) *Geococcyx californianus*, "roadrunner".

Algumas aves não conseguem andar (alguns Passeriformes), neste caso o salto é utilizado na locomoção terrícola. Outras possuem não só um tipo de marcha, mas também a possibilidade de saltar (e.g. Alaudidae, Motacillidae, Icteridae). Aves que empoleiram possuem pés especializados com quatro artelhos livres, móveis e de comprimento moderado e com o artelho caudal bem desenvolvido, localizado no mesmo plano que os três craniais, em sentido oposto a eles (anisodáctilo). Espécies que escalam ou empoleiram em superfícies verticais (papagaios e pica-paus) possuem outra conformação, a zigodáctila, com dois artelhos craniais opostos aos dois caudais.

Formas de pés de algumas aves.

Não sei se você já notou que, mesmo dormindo, uma ave não cai de seu poleiro. Isso não ocorre porque as aves possuem uma disposição dos tendões plantares associados aos artelhos que apertam e flexionam os dedos em torno do poleiro, bastando para isso o peso da ave em repouso.

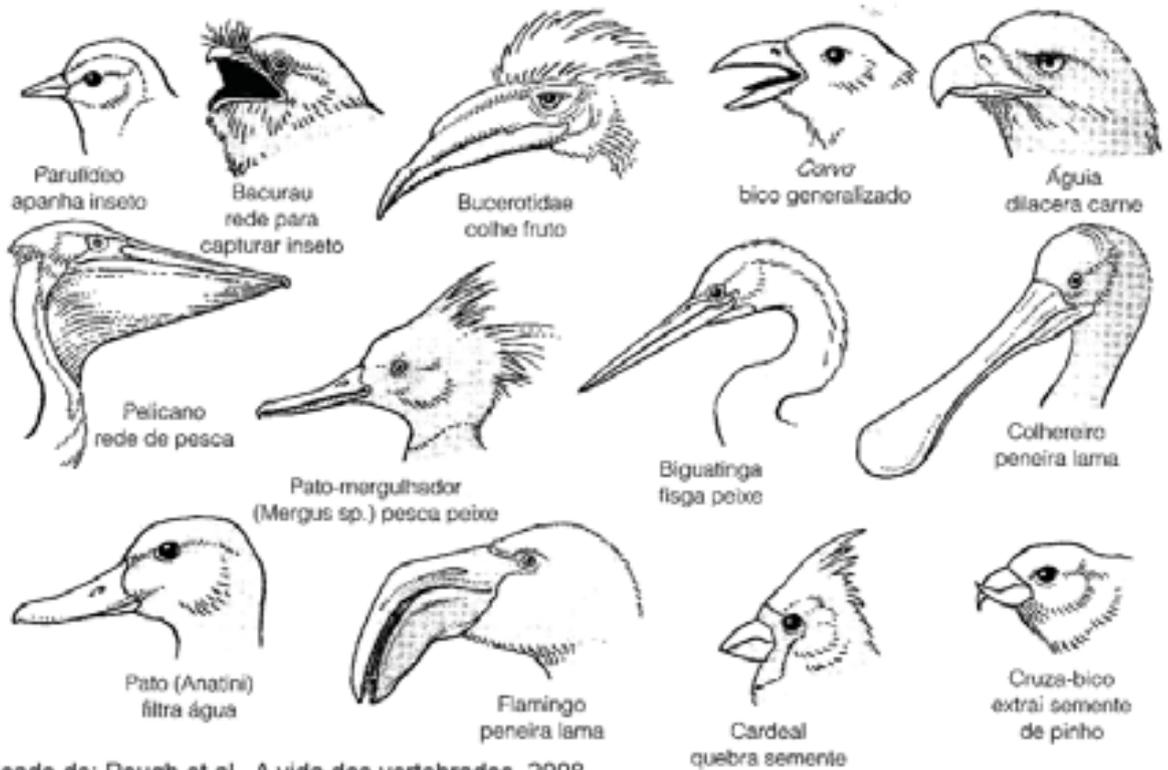
Entre as adaptações das aves que nadam na superfície, temos um corpo largo que aumenta a estabilidade na água, uma plumagem densa que fornece flutuabilidade e isolamento térmico, uma grande glândula uropigial, produtora de óleo, que impermeabiliza a plumagem contra a água, e modificações das penas do corpo que retardam a penetração da água até a pele. Os pés são providos de membranas interdigitais ou de lobos. Duas condições podem ser encontradas nas espécies com membranas interdigitais: na primeira, conhecida como palmada (e.g. patos, marrecos, gansos), a membrana se encontra apenas entre os três dígitos voltados para frente, na segunda, chamada de totipalmada, a membrana se encontra entre os quatro artelhos (e.g. pelicanos, biguá). As aves que mergulham têm redução no tamanho dos sacos aéreos, possuem ossos menos pneumáticos, expelem o ar da plumagem antes de submergir, e algumas delas (pingüim) chegam ao ponto de engolir pequenas pedras que atuam como lastro. O volume de

sangue nas aves que mergulham tende a ser maior, com alta capacidade de transporte de oxigênio, e os músculos são especialmente ricos em mioglobina. As asas em pingüins também se modificaram em estruturas semelhantes a remos.

Pinguim.

BICOS E LÍNGUAS

Como já foram bastante trabalhadas as características do sistema digestório das aves na disciplina Anatomia Comparada dos Cordados, vou restringir meus comentários às especializações dos bicos e das línguas de modo a complementar as informações. As aves possuem um bico córneo no lugar dos dentes, semelhante ao que vimos também nas tartarugas. É impressionante a diversidade de especializações morfológicas dos bicos, porém algumas categorias podem ser reconhecidas como:
- Insetívoros – aves insetívoras que encontram seu alimento na superfície das folhas, em geral, possuem bicos curtos, finos e pontiagudos, adaptados ao tamanho dos insetos;
- Varredores aéreos – espécies que coletam suas presas no ar, tais como bacuraus, andoriões e andorinhas têm bicos curtos, frágeis e uma ampla fenda bucal;
- Carnívoras – aves como gaivotas e corvos possuem bicos pesados e pontiagudos, utilizados para matar suas presas;
- Dilaceradores – os bicos de águias, gaviões, corujas e falcões matam suas presas com suas garras e empregam seus bicos para dilacerar em pedaços

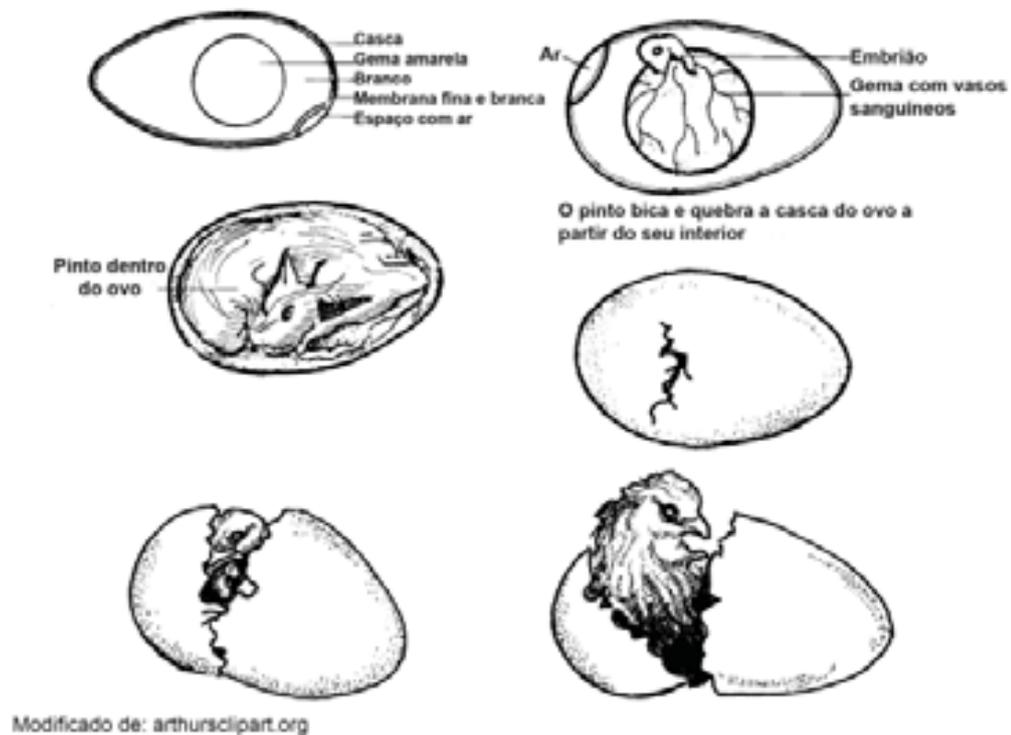
pequenos para facilitar a deglutição. Possuem uma estrutura denominada dente tomilhal, que facilita este processo;
- Piscívoros – biguás e pelicanos têm bicos com a ponta em forma de gancho afiado, que é usada para apanhar peixes. Acrescido a isto, os pelicanos possuem uma espécie de rede de pesca; patos mergulhões possuem bicos longos, estreitos e com uma série de serrilhas ao longo dos lados do bico, além de um gancho na ponta; biguatingas e garças têm bicos em forma de arpão que usam para fisgar o peixe;
- Peneiradores – colhereiros possuem bicos achatados com pontas alargadas, que são usadas para criar correntes que suspendem as presas na coluna d'água; flamingos possuem bicos curvados de modo conspícuo e a parte rostral é mantida na posição horizontal quando o animal abaixa sua cabeça. A maxila inferior é menor do que a maxila superior e esta última que se movimenta rapidamente, para cima e para baixo, durante o processo de alimentação, enquanto a mandíbula permanece imóvel, oposto ao padrão usual dos vertebrados;
- Filtradores – patos possuem bicos com lamelas córneas formando sulcos transversais e as línguas contêm também projeções córneas. Um grande número de corpúsculos sensoriais está presente nestas estruturas, gerando um sistema de filtração que permite aos patos encher seus bicos de lama e água, separar as presas e eliminar os detritos;
- Comedoras de sementes – extrair uma semente de um fruto às vezes não é nada fácil. Muitos frutos apresentam casca rígida que dificultam a sua extração. Dois métodos são adotados pelas aves comedoras de semente: no primeiro, o animal segura a semente com o bico e corta-a com movimentos para frente e para trás com a maxila inferior, no segundo modo as aves seguram a semente contra sulcos no palato e quebram a casca exercendo uma pressão para cima com a maxila inferior. Outra especialização é encontrada no cruza-bico, que extraem as sementes de coníferas, que ficam entre escamas dos cones de frutificação ou pinhas, usando as pontas divergentes de seu bico para manter as escamas afastadas e uma língua preênsil para colher a semente no interior;
- Extratoras de insetos em cavidades – os pica-paus possuem bicos pontiagudos e rígidos, utilizados para martelar e perfurar a madeira em busca de larvas de inseto que se encontram no interior de cavidades. Depois de perfurada a madeira, utilizam suas longas línguas para investigar as galerias feitas pelos insetos. O comprimento da língua pode ser até quatro vezes o de seu bico. Os ossos hióideos, que sustentam a língua, são alongados e protegidos por uma bainha de músculos que passa ao redor e por fora do crânio, chegando até a cavidade nasal. Na extremidade da língua existem vários espinhos córneos que espetam os insetos e permitem retirá-los de suas galerias;
- Nectarívoras – beija-flores em geral possuem bicos alongados adaptados ao comprimento das corolas das flores visitadas. Possuem línguas compridas e um aparelho hióideo que envolve a parte caudal do crânio. O néctar é retirado por capilaridade, auxiliada por projeções filamentosas presentes na língua.

Tipos funcionais de bicos.

REPRODUÇÃO

A maioria das aves é monogâmica, podendo o casal permanecer junto por parte de uma estação reprodutiva, uma estação inteira, ou por toda a vida. Em geral, nos sistemas monogâmicos ambos os pais participam dos cuidados com os filhotes. O segundo sistema reprodutivo mais comum nas aves é a poligamia, que está presente em seis por cento das espécies conhecidas. A poligamia em aves pode ocorrer em machos, fêmeas ou ambos os sexos. O sistema poligâmico, no qual um macho acasala com várias fêmeas, é conhecido como poligínico. Já quando o acasalamento se dá entre uma fêmea e vários machos, o termo adotado é poliandria. Um último caso também pode estar presente, no qual tanto machos quanto fêmeas podem ter acasalamentos múltiplos, denominado de promiscuidade.

Mesmo sendo um grupo tão grande e adotando tantas estratégias de acasalamento, todas as espécies de aves põem ovos, de forma que não são encontradas espécies vivíparas. A determinação do sexo é genética e cromossomos heterogaméticos estão presentes nas fêmeas (ZW), diferente dos mamíferos, nos quais os machos carregam essa forma (XY). A transferência dos espermatozóides ocorre por junção das cloacas e a fecundação do ovo se dá no oviduto, antes da formação da casca.

Os ovos são postos em ninhos que vão, desde uma simples depressão no solo, até aqueles bastante elaborados, com várias câmaras. Os ninhos oferecem certa proteção (calor, frio, chuva, predadores) aos ovos e formam um meio propício à incubação e desenvolvimento dos embriões.

A incubação pode iniciar tão logo o primeiro ovo seja colocado, mas também após a postura de todos os ovos. Hormônios (prolactina, estrógeno ou andrógeno) estimulam a formação de uma placa de incubação em várias espécies. Estas placas são áreas nuas do tegumento, na parte ventral da ave, que sofrem um aumento da irrigação sanguínea na derme, que pode dobrar em espessura, dando à pele uma textura esponjosa. A temperatura de incubação é mantida normalmente na faixa entre 33ºC e 37ºC, e ambos os pais podem participar desta atividade. Os pais giram os ovos várias vezes por hora durante a incubação, mudando cada ovo de lugar de modo que experimentem a mesma média de temperatura. Fora isso, o giro do ovo evita a fusão prematura da membrana alantocórica com a membrana interna da casaca e faz com que o embrião assuma a sua posição de equilíbrio. Os períodos de incubação são variados, podendo chegar até 80 dias nas espécies maiores.

Estrutura do ovo de uma ave, desenvolvimento e eclosão.

Os filhotes das aves mostram um espectro de maturidade que varia desde filhotes precoces, que são emplumados e auto-suficientes já no momento da eclosão, até formas altriciais, que são nuas e inteiramente dependentes de seus pais para a alimentação e a termorregulação. Esta separação em formas precociais e altriciais tem relação com as diferenças na quantidade inicial de vitelo existente no ovo, e também com as diferenças no desenvolvimento dos órgãos e músculos no momento da eclosão e com a posterior velocidade de crescimento.

Cuidado parental de uma ave nidífoga.

Um resumo das variações entre as formas precociais e altriciais encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 1. Comparação entre aves precoces e altriciais (Adaptado de Pough, et al., 2008).

CARACTERÍSTICAS	FORMAS		
Ovos			
Quantidade de vitelo nos ovos	Precocial	>	Altricial
Quantidade de vitelo que permanece na eclosão	Precocial	>	Altricial
Filhotes			
Tamanho dos olhos e do encéfalo	Precocial	>	Altricial
Desenvolvimento dos músculos	Precocial	>	Altricial
Tamanho do intestino	Altricial	>	Precocial
Média de crescimento após a eclosão	Altricial	>	Precocial

Algumas características das aves no momento da eclosão divididas em um contínuo entre as formas precociais e altriciais estão apresentadas a seguir (Adaptado de Pough, et al., 2008).

Precocial: olhos abertos, cobertos com penas ou plúmulas, deixam o ninho após um ou dois dias

1. Independentes dos pais: Megapodidae
2. Seguem os pais, mas encontram o seu próprio alimento: patos, aves limícolas
3. Seguem os pais e os alimentos lhes são indicados: Phasianidae
4. Seguem os pais e são alimentados por eles: mergulhões e saracuras

Semiprecocial: olhos abertos, cobertos por plúmulas, capazes de andar, mas permanecem no ninho e são alimentados pelos pais: gaivotas, trinta-réis

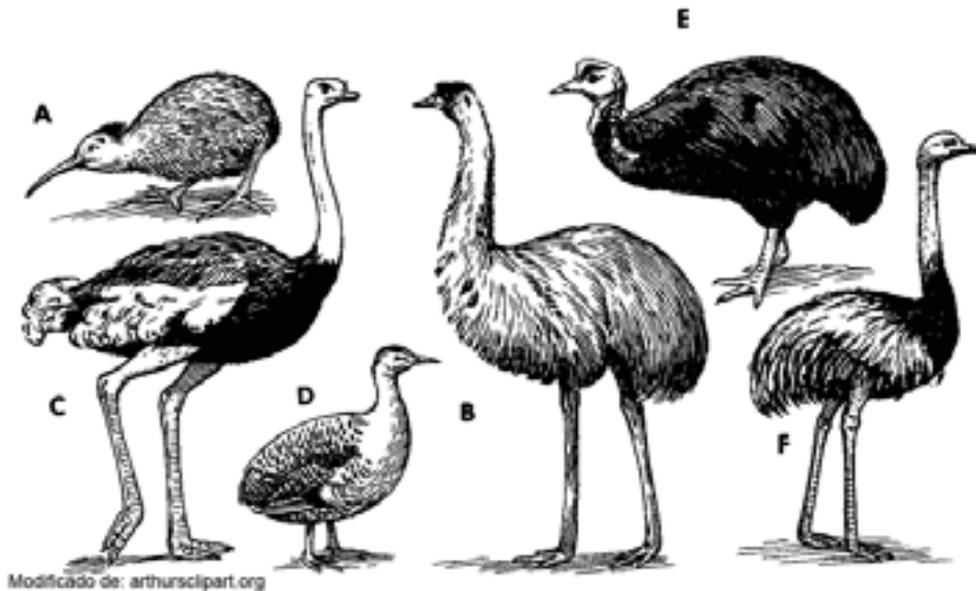
Semialtricial: cobertos com plúmulas, incapazes de deixar o ninho, alimentados pelos pais

1. Olhos abertos: garças, gaviões
2. Olhos fechados: corujas

Altricial: olhos fechados, poucas plúmulas ou sem, incapazes de deixar o ninho, alimentados pelos pais: pássaros

TAXONOMIA

Os Paleognathae são representados por cinco ordens, 11 famílias e 63 espécies (Adaptado de Pough, et al., 2008).

Classificação	Número aproximado de		Região Geográfica
	Famílias	Espécies	
Paleognathae			
Tinamiformes (macucos, inambus, codornas)	1	47	Neotropical
Casuariiformes (emus e casuares)	2	2	Austrália, Nova Guiné
Rheiformes (emas e nandus)	1	2	Neotropical
Struthioniformes (avestruz)	6	9	Neotropical, África, Austrália, Nova Zelândia, Nova Guiné
Dinornithiformes (kiwis)	1	3	Nova Zelândia

Representantes de paleognata.

Já os Neognathae são representados por 24 ordens, 187 famílias e 9.565 espécies (Adaptado de Pough, et al., 2008) como se segue:

Classificação	Número aproximado de		Região Geográfica
	Famílias	Espécies	
Neognathae			
Galliformes (mutus, jacus, aracuãs, faisões, perus)	5	258	Ampla distribuição
Anseriformes (anhumas, tachas, patos)	2	161	Ampla distribuição
Passeriformes (pássaros, incluindo as aves canoras)	84	5681	Ampla distribuição
Piciformes (arirambas, capitães-de-bigode, tucanos, pica-paus)	8	410	Ampla distribuição
Coraciiformes (Martins-pescadores, juruvas)	10	218	Ampla distribuição
Trogoniformes (surucuás, "quetzal")	1	39	Pantropical, exceto Autrália
Coliidormes ("mousebirds")	1	6	África
Apodiformes (andoriões, beija-flores)	3	422	Ampla distribuição
Caprimulgiformes (bacuraus, curiangos, urutaus, guácharo)	5	113	Ampla distribuição
Strigiformes (corujas)	2	186	Ampla distribuição
Cuculiformes (cucos, cigana)	6	143	Ampla distribuição
Psittaciformes (papagaios e afins)	3	358	Pantropical e Austrália
Gruiformes (saracuras, carquejas)	11	213	Ampla distribuição
Charadriiformes (aves limículas, batuíras, maçaricos, gaivotas)	19	366	Ampla distribuição
Columbiformes (pombos, rolas)	1	310	Ampla distribuição
Falconiformes (condores, gaviões, águias, falcões, carcarás)	5	311	Ampla distribuição

Ciconiiformes (garças, socós, bico-de-sapato, cegonhas, colhereiros)	5	120	Ampla distribuição
Pelicaniformes (pelicanos, fragatas, rabos-de-palha, atobás, biguás)	6	67	Ampla distribuição
Procellariiformes (albatrozes, bobos, pardelas)	4	115	Ampla distribuição
Podicipediformes (mergulhões)	1	21	Ampla distribuição
Sphenisciformes (pingüins)	1	17	Hemisfério Sul
Gaviiformes (“loons”)	1	5	Novo Mundo, Eurásia
Phoenicopteriformes (flamingos)	1	5	Ampla distribuição, exceto Austrália
Musophagiformes (turacos)	1	23	África

CONCLUSÃO

Como foi visto, boa parte das características observadas nas atuais aves são adaptativas ao vôo. A evolução deste modo de deslocamento contribuiu para o grande sucesso das aves, permitindo que as mesmas utilizassem uma enormidade de nichos e ocupassem quase todo o globo terrestre. Mas juntamente com os ganhos vem também o ônus. Sustentar um deslocamento como o vôo e manter as temperaturas corpóreas elevadas e constantes, demanda muita energia. Devido a isso, especializações tróficas, relacionadas à estrutura dos bicos e dos tratos digestórios, que maximizaram a obtenção e processamento do alimento, também foram necessárias de modo a sustentar as elevadas taxas metabólicas. Os próprios comportamentos de forrageio tiveram que ser aprimorados de modo a garantir o maior sucesso na obtenção do alimento, com o menor custo para o animal.

RESUMO

As aves surgiram há mais ou menos 150 milhões de anos e representam o grupo mais derivado de Diapsida. São animais endotérmicos, com membros anteriores modificados em asas que sustentam estruturas laminares queratinizadas, as penas. As aves são bastante lembradas por sua capacidade de voar, que acabou por moldar esses organismos. Duas teorias sobre o vôo das aves são normalmente sugeridas: 1) teoria arbórea, que pressupõe que os ancestrais das aves eram trepadores arborícolas, que saltavam de galho em galho e de árvore em árvore; 2) teoria do chão para cima que postula que o vôo batido evoluiu de corredores bípedes terrícolas que utilizavam seus membros anteriores para a captura de presas. As aves modernas (Neornithes) são representadas atualmente por mais de 9.600 espécies distribuídas em 29 ordens e 197 famílias. Possuem cabeça distinta, pescoço longo e flexível, um forte corpo fusiforme e, no lugar da boca, um bico córneo. Além do vôo as aves podem utilizar outras formas de locomoção como andar, saltar, escalar, nadar e mergulhar e, para cada especialidade, existem adaptações próprias. A maioria das aves é monogâmica e todas as espécies põem ovos, com os sexos sendo determinados geneticamente. Os ovos são postos em ninhos que vão desde uma simples depressão no solo, até aqueles bastante elaborados, com várias câmaras. A incubação pode iniciar tão logo o primeiro ovo seja colocado, mas também após a postura de todos os ovos. Os filhotes das aves mostram um espectro de maturidade que varia desde filhotes precoces, que são emplumados e auto-suficientes já no momento da eclosão, até formas altriciais, que são nuas e inteiramente dependentes de seus pais para a alimentação e a termorregulação.

ATIVIDADES

O objetivo desta atividade é reconhecer algumas das adaptações das aves ao vôo. Para isso busque algumas imagens que retratem a morfologia externa, e os esqueletos das aves. Imprima algumas e reserve. Se possível, consiga também algumas penas. Para começar explore o formato geral do corpo das aves. Note que as formas são bastante aerodinâmicas. Recorra também ao livro de Anatomia Comparada dos Cordados do semestre anterior, que ajudará bastante no entendimento.

Separe uma foto da morfologia externa e outra do esqueleto e reserve também uma folha em branco. Nas imagens gostaria que identificasse e marcasse as estruturas listadas a seguir. Na folha em branco gostaria que você colocasse os nomes das estruturas identificadas. Para cada estrutura olhe novamente nas imagens e pense um pouco sobre como cada uma delas pode contribuir para o sucesso do vôo. Feito isso, redija com suas palavras o que pensou. Confira, utilizando bibliografia especializada, se suas respostas estão corretas.

Estruturas a serem identificadas:

- Bico
- Cabeça
- Pescoço
- Tronco
- Penas
- Asas
- Cauda
- Olhos
- Pigóstilo
- Sinsacro
- Quilha
- Fúrcula
- Osso pneumático
- Escápula
- Carpometacarpo

Quais são e no que diferem os vários tipos de penas?

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula trabalharemos as características gerais do último grupo de vertebrados que iremos estudar nesta disciplina, os mamíferos. Serão abordados aspectos dos ancestrais e dos principais grupos viventes.

AUTOAVALIAÇÃO

Antes de passar para o próximo capítulo, verifique se realmente abe reconhecer as principais características das aves.

REFERÊNCIAS

BEJCEK, V. & STASTNY, K. Enciclopédia das Aves. As várias espécies e seus habitats. Ed. Livros e Livros. Lisboa. 2002.

HILDEBRAND, M. & GOSLOW- JR, G.E. Análise da estrutura dos vertebrados. 2 ed. São Paulo, Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2006.

HÖFLING, E.; OLIVEIRA, A. M. S.; TRAJANO, E. & ROCHA, P. L. B. Chordata. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo. 1995.

KARDONG, Kennet K. Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2006.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B. A vida dos vertebrados. 4 ed. São Paulo Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2008.

SINGER, Charles. Uma breve história da anatomia e fisiologia desde os gregos até Harvey. Campinas: Editora da Unicamp, 1996.